

PCT/JP2004/005803

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

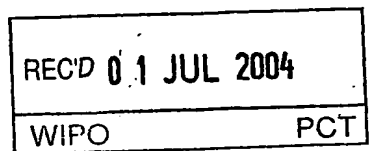
22. 4. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年 4月22日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2003-117055  
[ST. 10/C]: [JP2003-117055]



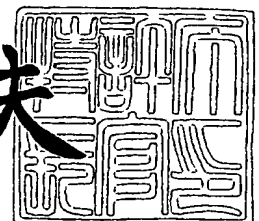
出 願 人  
Applicant(s): 学校法人日本大学

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 6月 2日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特2004-3047192

【書類名】 特許願  
【整理番号】 10504  
【提出日】 平成15年 4月22日  
【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿  
【国際特許分類】 G02F 1/39  
【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区九段南四丁目 8 番 2 4 号 学校法人日本  
大学内

【氏名】 井上 修一郎

【特許出願人】

【識別番号】 899000057

【氏名又は名称】 学校法人 日本大学

【代理人】

【識別番号】 100099254

【弁理士】

【氏名又は名称】 役 昌明

【選任した代理人】

【識別番号】 100100918

【弁理士】

【氏名又は名称】 大橋 公治

【選任した代理人】

【識別番号】 100105485

【弁理士】

【氏名又は名称】 平野 雅典

【選任した代理人】

【識別番号】 100108729

【弁理士】

【氏名又は名称】 林 紘樹

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 037419

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 単一光子発生装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザー光源と、レーザー光源からの1つの光子を同じ波長の2つの光子に変換する擬似位相整合LiNbO<sub>3</sub>と、2つの光子を分離するビームスプリッターと、分離された一方の光子を検出する単一光子検出器と、分離された他方の光子を入力して単一光子検出器の検出信号で制御されるLN偏波変調器と偏光ビームスプリッターにより構成される光スイッチとを具備することを特徴とする単一光子発生装置。

【請求項2】 レーザー光源と、レーザー光源からの1つの光子を異なる波長の2つの光子に変換する非縮退導波路型擬似位相整合LiNbO<sub>3</sub>と、異なる波長の2つの光子を分離するダイクロイックミラーと、分離された一方の光子を検出する単一光子検出器と、分離された他方の光子を入力して単一光子検出器の検出信号で制御されるLN偏波変調器と偏光ビームスプリッターにより構成される光スイッチとを具備することを特徴とする単一光子発生装置。

【請求項3】 レーザー光源と、レーザー光源からの1つの光子を異なる波長の2つの光子に変換して異なる方向に出力する非縮退バルク型擬似位相整合LiNbO<sub>3</sub>と、一方の光子を検出する単一光子検出器と、分離された他方の光子を入力して単一光子検出器の検出信号で制御されるLN偏波変調器と偏光ビームスプリッターにより構成される光スイッチとを具備することを特徴とする単一光子発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、単一光子発生装置に関し、特に、レーザー光と結晶との非線形光学過程である自然パラメトリック下方変換によって単一光子を発生する単一光子発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

現在、暗号鍵の配布には公開鍵暗号が広く使用されている。将来的には、原理的に盗聴・解読が不可能な暗号技術が必要となる。量子暗号は、原理的に盗聴・解読が不可能な暗号技術であり、この暗号鍵配布の問題を完全に解決することができる。

#### 【0003】

また、「無相互作用測定」を利用すれば、「光を当てずに物を見る」ことが可能である。マッハツェンダー干渉計を用いた測定装置では、25%の確率で、観測対象に光を当てずに、その存在を確認できる。線幅の非常に狭いレーザーとq値の高いファブリーペロー（FP）共振器を用いて無相互作用測定を並行的に行い、100%に近い確率（99%以上）で光を当てずに物を見る「無相互作用イメージング」が実現できる。

#### 【0004】

量子暗号や無相互作用測定では、光子の量子力学的な性質を用いるために、単一光子発生技術が必要となる。単一光子の発生には、非線形光学過程である自然パラメトリック下方変換（以下SPDC）が広く使用されている。このSPDCでは、エネルギーの高い光子を、エネルギーの低い2つの光子に変換する。以下、従来の単一光子発生技術の例をいくつかあげる。

#### 【0005】

特許文献1に開示された「単一光子発生装置」は、パルス内にただ1つの光子を発生させるものである。図2（a）に示すように、シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、アイドラー光子の光子の入射を検出する光子検出器、クロック発生器、そのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲート装置を開閉するための信号を生成するゲート装置制御部、ゲート装置制御部からの信号に応じて開閉するゲート装置を備えた。

#### 【0006】

特許文献2に開示された「単一光子発生装置」は、単一の光子を定まった時刻に装置外に放出するものである。図2（b）に示すように、励起光パルスを量子ドットに照射すると、量子ドットでは1つのみの電子が励起され、励起された電

子が再結合して1つの光子が生成される。共振器を構成する微小球はこの光子に共鳴するモードを有しているため、光子は微小球内に存在して、微小球は共鳴状態となる。その後、第2の制御光パルス'を第2の光電スイッチに照射すると、第2の光電スイッチは電圧を発生して連結部材に印加し、その結果、連結部材の屈折率が変化する。これにより、微小球と連結部材との境界面の反射率が低下し、微小球内の光子は、連結部材側に透過可能となり、連結部材を通じ導波路に入って導波路より装置外に放出される。

#### 【0007】

特許文献3に開示された「単一光子発生装置」は、任意の角周波数を有する光子を任意の時間に発生させる単一光子発生装置である。図2(c)に示すように、単一光子発生装置を、半導体GaAs基板の上に形成する。インターデジタルトランスデューサを電圧駆動して、表面音響波を発生させる。それによって、振幅の小さいソリトンと、振幅の大きいソリトンとを、半導体GaAs基板表面に、この順に生成する。ソリトン進行通路と、メサ構造体の2次元電子ガス領域との共通部分、すなわち電子捕獲チャネルにおいて、振幅の小さいソリトンに電子を捕獲させる。その後、電子を捕獲した振幅の小さいソリトンと、電子を捕獲していない振幅の大きいソリトンとの衝突の相互作用によって起こる電子遷移によって、単一光子を発生させる。

#### 【0008】

##### 【特許文献1】

特開2000-292821号公報

##### 【特許文献2】

特開2001-230445号公報

##### 【特許文献3】

特開2003-268104号公報

#### 【0009】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、従来の単一光子発生装置では、効率が悪いという問題があった。量子暗号における単一光子発生は、レーザーからの光パルスを平均光子数が0.1個に

なるまで減衰することにより行なわれてきた。この方法では、単一光子は全パルスの10%にしか存在しないため、鍵配布率は低い。これを改善するためには平均光子数を上げればよいが、1パルスに含まれる光子数がポアソン分布に従うため、同じパルス内に2個以上の光子が存在する確率が増加してしまう。そのため量子暗号の安全性が破綻してしまう。

#### 【0010】

本発明は、上記従来の問題を解決して、効率よく単一光子を発生することを目的とする。

#### 【0011】

##### 【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するために、本発明では、単一光子発生装置を、レーザー光源と、レーザー光源からの1つの光子を同じ波長の2つの光子に変換する擬似位相整合LiNbO<sub>3</sub>と、2つの光子を分離するビームスプリッターと、分離された一方の光子を検出する単一光子検出器と、分離された他方の光子を入力して単一光子検出器の検出信号で制御されるLN偏波変調器と偏光ビームスプリッターにより構成される光スイッチとを具備する構成とした。このように構成したことにより、自然パラメトリック下方変換（レーザー光と結晶との非線形光学過程）によって効率よく単一光子を発生することができ、量子暗号に利用すれば、高いビットレートで、しかも長距離にわたる鍵配布を実現できる。

#### 【0012】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について、図1を参照しながら詳細に説明する。

#### 【0013】

##### （発明の実施の形態）

本発明の実施の形態は、自然パラメトリック下方変換によって単一光子を発生する単一光子発生装置である。

#### 【0014】

図1は、本発明の実施の形態における単一光子発生装置の概念図である。図1において、レーザー1は、波長775nmの半導体レーザーである。PPLN2は、波

長775 nmの光子を波長1550 nmの2つの光子に変換する導波路型PPLN（バルク型擬似位相整合LiNbO<sub>3</sub>）である。ビームスプリッター3は、2つの光子を分離する手段である。単一光子検出器4は、光子1つを検出できるセンサーである。光スイッチ5は、LN偏波変調器と偏光ビームスプリッターにより構成される光スイッチである。ダイクロイックミラー6は、波長の異なる光子を分離するミラーである。

#### 【0015】

上記のように構成された本発明の実施の形態における単一光子発生装置の動作を説明する。単一光子発生装置は、図1（a）に示すように、波長775 nmの半導体レーザー1と、PPLN2と、光スイッチ5により構成されている。ここで、光スイッチ5は、LN偏波変調器と偏光ビームスプリッターにより構成されている。バルク型擬似位相整合LiNbO<sub>3</sub>（非線形結晶）を、波長775 nmの半導体レーザー1でポンプし、自然パラメトリック下方変換と呼ばれる非線形光学過程により、波長1550 nmの相関光子対を発生する。

#### 【0016】

導波路型PPLN2（波長775 nmの光子を波長1550 nmの2つの光子に変換するもの）では、できる限り高い変換効率を得るために、100mW程度の出力を有する、波長775nmの半導体レーザー1で、導波路型PPLN2をポンプする。このとき、フォトリフラクティブ効果による変換効率の低下を防ぐために、導波路型PPLN2の温度はオープンにより125℃～150℃に保つ。発生した波長1550 nmの光子対の一方は、ゲート幅20 ns程度（単一光子検出器のデッドタイム）で動作させた単一光子検出器4で検出する。この検出信号により、LN偏波変調器を動作させる。もう一方の光子の偏光を90度回転させることにより、光子1個だけを数百MHzの周期で進行方向に取り出す。このとき、LN偏波変調器は、光子検出信号のジッター時間（200ps）程度だけ動作させるため、5 GHz程度で変調可能なものを使用する。

#### 【0017】

このようにして、パラメトリック下方変換により発生させた光子対の片方を検出（ポストセレクト）したときのみ、もう一方の光子を通過させる光スイッチ5



を用いて、単一光子源を実現する。ポストセレクト用の光子検出器 4（波長1550 nm用）の時間分解能は100ps程度であることから、光スイッチ 5 の限界は～2 GHz である。この下で最適な光子対の発生率は $2.5 \times 10^8$ 個/s である。これ以上発生率を上げても、2 個以上の光子を同時にスイッチしてしまう確率が高くなるだけである。この発生率を実現するために、下方変換素子として導波路型PPLN 2 を用い、波長775nmのCWレーザーでポンプすることにより、波長1550nmの光子対を発生させる。ポンプ光の出力が100mWのとき、先の光子対発生率が確保できる。

#### 【0018】

PPLN 2 により発生した光子対は、同じ方向に発生しているため、ビームスプリッター 3 により強制的に分離する。波長1550nm用の光子検出器 4 は、ゲート動作させるが、このゲート幅は通常、暗計数抑圧のため1 nsと狭い。しかし、ポストセレクトできる確率をあげるために、20nsと広げる。この間に平均5 個の光子が入射する。ゲート開始から初めての検出信号が出力されると、検出器 4 は、検出回路の受動クエンチング効果により、この後に入射する光子が検出されることはない。この検出信号を、光スイッチ 5 の制御信号として用いる。光スイッチ 5 には、PPLN 2 により出力される光子対が一定の偏光方向を持つことから、偏光ビームスプリッターを用いた偏光スイッチを採用する。偏光は、帯域10GHzの偏光コントローラーにより制御される。

#### 【0019】

量子効率～25%で、暗計数率/20 ns ～ $6 \times 10^{-4}$ の単一光子検出器 4 を用いた場合、40%の確率で、ゲート時間内に光子を1 つだけ入れることができる。光子が2 個以上入る確率は、1 %に抑えられる。これは、平均光子数0.1まで減衰された光パルスと同等レベルである。

#### 【0020】

図1（b）に示す単一光子発生装置では、PPLN 2 として、波長775nmの光子を波長1530nmと1570nmの2 つの光子に変換できる非縮退導波路型PPLNを用いる。ゲート光子検出を、異なる波長で行うことができ、光子の利用効率を高めることができる。これにより、導波路型PPLNよりもさらに高い単一光子発生率を実現することができる。50/50ビームスプリッター 3 の代わりに、ダイクロイックミラー

6を用いる。

#### 【0021】

図1(c)に示す単一光子発生装置では、波長775nmの光子を、波長1530nmと1570nmの2つの光子に変換する。それらを、ポンプ光を含む平面上の異なる方向に発生できる非縮退バルク型PPLNを用いる。これにより、光子対を空間的に分離することができ、光子の利用効率を高めることができる。50/50ビームスプリッターは必要なくなる。

#### 【0022】

従来のように、単に減衰させた光パルスの光子統計は、ポアソン分布に従う。しかし、光子対の片方をポストセレクトしたときのみ、もう片方の光子を切り出すため、光子数揺らぎを、ポアソン分布よりも抑圧することができる。また、光スイッチは、偏光状態を用いたものであるため、高い確率で光子1個を分離できる。そして、放出される光子は、一定の偏光方向を持つため、非常に扱いやすい光源である。光スイッチによる単一光子源では、2個以上の光子が同時に放出される確率を抑え、かつ高い確率で単一光子を放出することが可能となる。

#### 【0023】

上記のように、本発明の実施の形態では、単一光子発生装置を、自然パラメトリック下方変換によって単一光子を発生する構成としたので、効率よく単一光子を発生できる。

#### 【0024】

##### 【発明の効果】

以上の説明から明らかなように、本発明では、単一光子発生装置を、レーザー光源と、レーザー光源からの1つの光子を同じ波長の2つの光子に変換する擬似位相整合LiNbO<sub>3</sub>と、2つの光子を分離するビームスプリッターと、分離された一方の光子を検出する単一光子検出器と、分離された他方の光子を入力して単一光子検出器の検出信号で制御されるLN偏波変調器と偏光ビームスプリッターにより構成される光スイッチとを具備する構成としたので、自然パラメトリック下方変換によって効率よく単一光子を発生することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の実施の形態における単一光子発生装置の概念図、

【図 2】

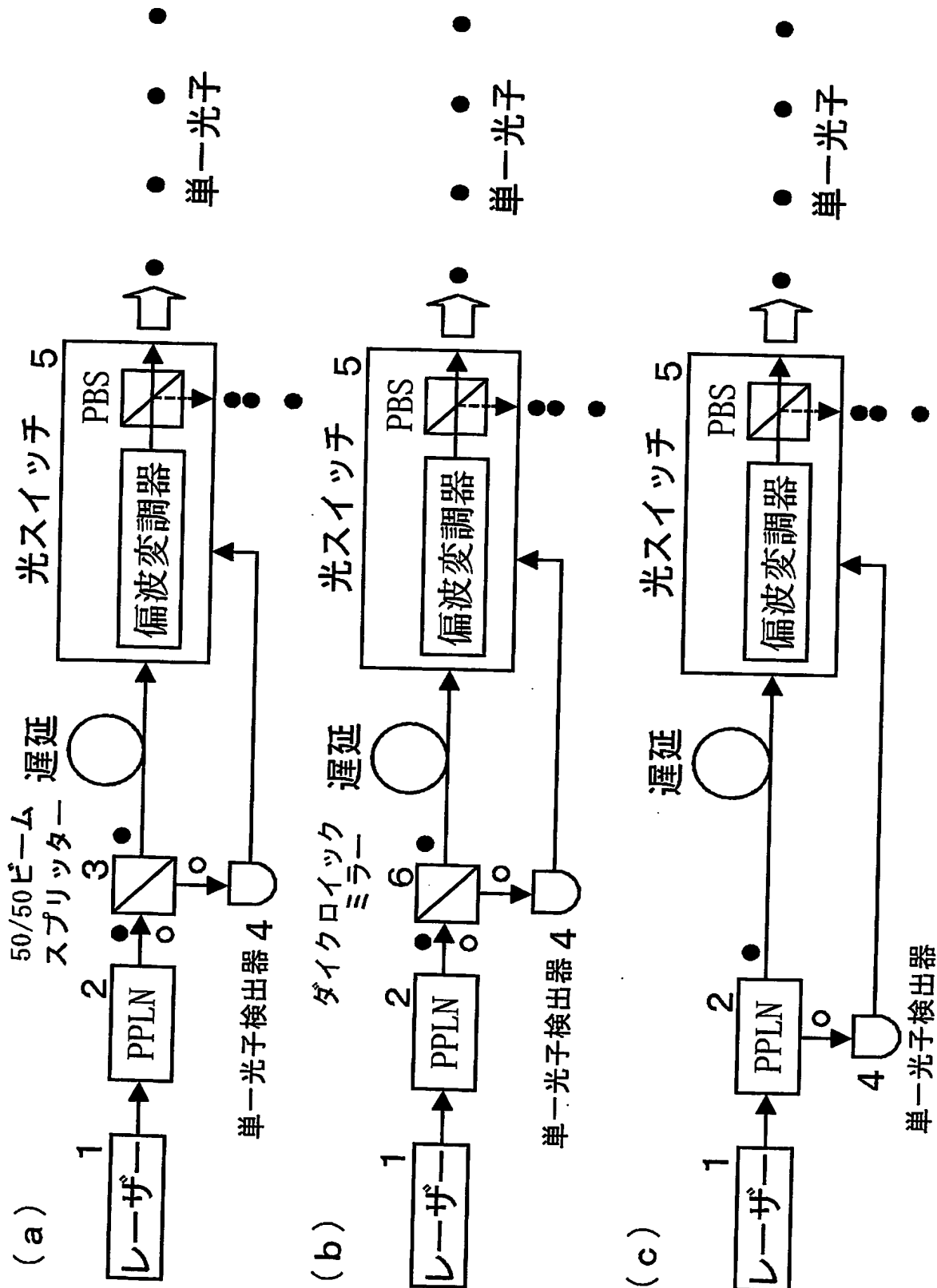
従来の単一光子発生装置の概念図である。

【符号の説明】

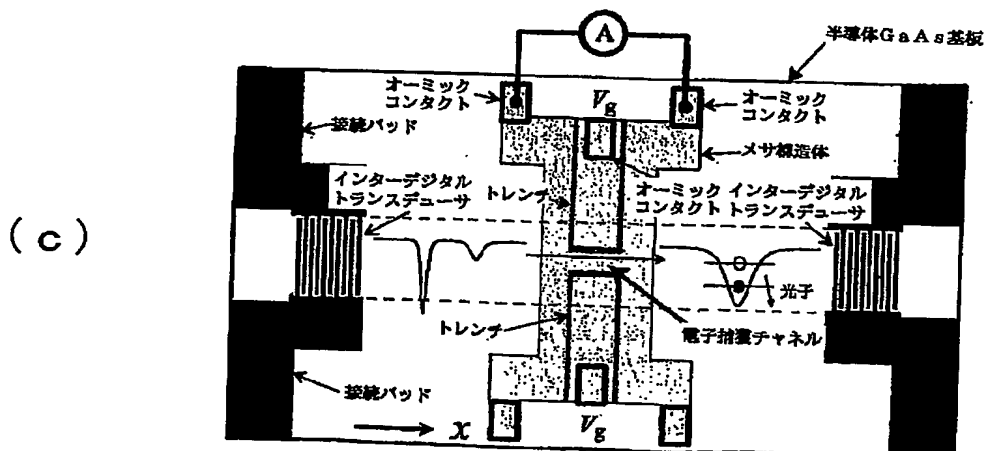
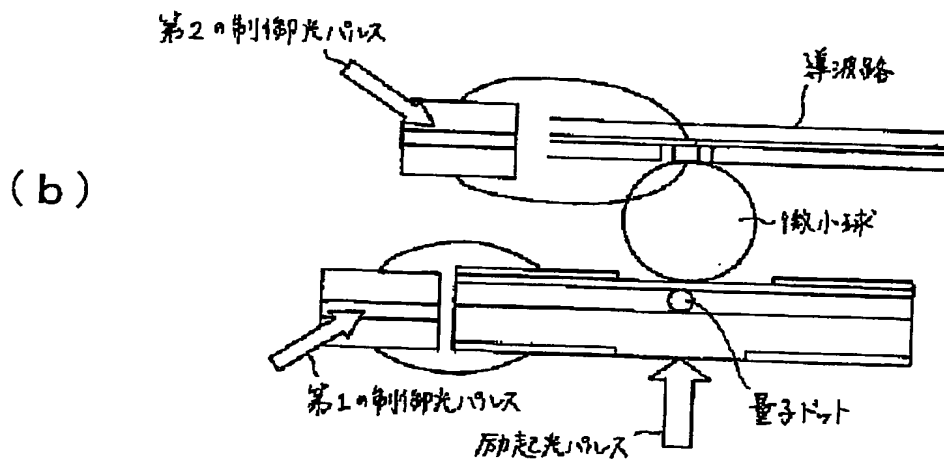
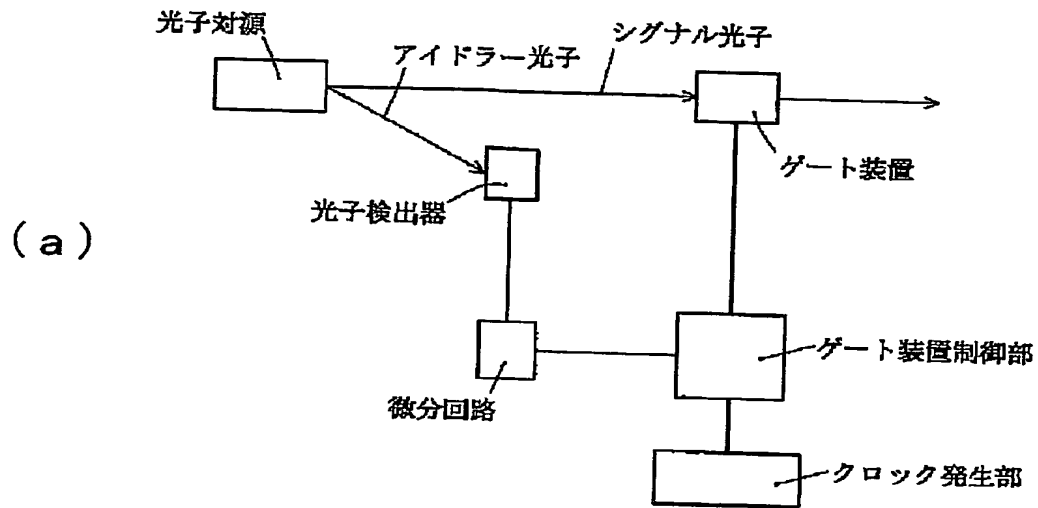
- 1 レーザー
- 2 PPLN（擬似位相整合 $\text{LiNbO}_3$ ）
- 3 ビームスプリッター
- 4 単一光子検出器
- 5 光スイッチ
- 6 ダイクロイックミラー

【書類名】 図面

【図1】



【図 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 効率よく単一光子を発生する。

【解決手段】 半導体レーザー 1 で、波長775nmのレーザー光を発生する。波長775nmの光子を、導波路型PPLN（バルク型擬似位相整合LiNbO<sub>3</sub>） 2 で、波長1550nmの2つの光子に変換する。ビームスプリッター 3 で、2つの光子を分離する。単一光子検出器 4 で、一方の光子を検出する。この検出信号により、LN偏波変調器を動作させる。LN偏波変調器と偏光ビームスプリッターにより構成される光スイッチ 5 で、もう一方の光子の偏光を90度回転させる。光子1個だけを数百MHzの周期で進行方向に取り出すことができる。自然パラメトリック下方変換によって単一光子を発生するので、効率よく単一光子を発生できる。

【選択図】 図 1

特願 2003-117055

ページ: 1/E

出願人履歴情報

識別番号

[899000057]

1. 変更年月日  
[変更理由]

1999年 9月17日

新規登録

住所  
氏名

東京都千代田区九段南四丁目8番24号  
学校法人日本大学